Lane Medical Library

[AUS DEM HYGIENISCHEN INSTITUT DER UNIVERSITÄT
ZU KÖNIGSBERG I. PR.]
(DIREKTOR: PROFESSOR DR. K. KISSKALT.)

STAN. RO UNIVERSITY LIBRARY
JUL
23
1917

UNTERSUCHUNGEN ÜBER DIE FEINSTEN LUFTSTÄUBCHEN.

INAUGURAL-DISSERTATION

ZUR

ERLANGUNG DER MEDIZINISCHEN DOKTORWÜRDE

DER

ALBERTUS-UNIVERSITÄT ZU KÖNIGSBERG I. PR.

VORGELEGT

VON

GERSCHON WOLODARSKI
AUS KREMENTSCHUG (RUSSLAND).

LEIPZIG,
VEIT & COMP.
1913.

Gedruckt mit Genehmigung
der medizinischen Fakultät der Albertus-Universität zu Königsberg i. Pr.
Referent: Prof. Dr. Kisskalt.

Sonderabdruck aus der
„*Zeitschrift für Hygiene und Infektionskrankheiten*". Bd. LXXV. 1913.

Druck von Metzger & Wittig in Leipzig.

DEM ANDENKEN

MEINER LIEBEN MUTTER.

Im Jahre 1890 hat Aitken eine Methode angegeben, mit deren Hilfe es gelingt, die kleinsten unsichtbaren oder als Sonnenstäubchen eben sichtbaren Partikelchen in der Luft quantitativ zu bestimmen. Sie beruht auf der von ihm[1] festgestellten Eigenschaft des Wasserdampfes, nur bei Anwesenheit von festen Stäubchen sich um die letzteren zu kondensieren. Durch künstliche Übersättigung einer in einem Behälter eingeschlossenen Luft mit Wasserdampf läßt er den letzteren in Gestalt einzelner Tröpfchen ausfallen; aus der Zahl der Tröpfchen ist die Zahl der sich in der Luft befindenden Stäubchen abzulesen. Mit einem auf diesem Prinzip beruhenden Apparat hatte er eine Reihe von Körpern auf ihre Fähigkeit, Kondensationskerne zu liefern, untersucht. So fand er, daß schon durch bloße Hitzewirkung allein viele Substanzen (z. B. Eisen, Glas, Steinkohle) kleine Staubpartikelchen abgeben; schon mit einem $^1/_{2000}{}^{\text{gran}}$ wiegenden Stück Eisendraht konnte er Nebelwirkung hervorrufen; das Fehlen einer deutlichen Gewichtsabnahme des Eisenstückchens ließ ihn auf die außerordentliche, vielleicht molekulare Kleinheit der Teilchen schließen; Schwefel bildete bei seiner Verbrennung einen ganz besonders dichten Nebel. Der Zusatz von Ammoniak zu Schwefel, wie er auch in der Natur bei Verbrennung von Kohle gegeben ist, vermehrte sehr die Nebelbildung.

---

[1] *Proceedings of the Royal Society of Edinburgh.* 1880/82. Bd. XI.

In einer weiteren Arbeit[1] folgt eine Beschreibung neuer Abänderungen am Apparat, der tragbar gemacht und auch für nicht Vorgebildete zum Gebrauch geeignet wurde. Mit diesem Apparat stellte er zunächst Zählungen außerhalb der Stadt Falkirk an. Hier fand er die Luft durch die in der Umgebung gelegenen menschlichen Ansiedlungen je nach der Windrichtung mehr oder weniger verunreinigt (11000 bis 140000 Kondensationskerne pro Kubikzentimeter). Proben an der Seeküste von Ayrshire gaben zu hohe Resultate wegen der in der Luft enthaltenen Salzteilchen. Messungen in Edinburg ergaben zwischen 75000 und 250000 Teilchen, in Glasgow 170000 bis 466000. Messungen in geschlossenen Räumen zeigten ihm, daß die Verunreinigung durch offene Gasflammen sehr bedeutend ist, vor allem, wenn Ventilatoren fehlen. Dabei konnte er die natürliche Ventilation verfolgen, indem am Fenster, wohin die verunreinigte Luft von nahe der Decke gezogen wird, mehr Staubteilchen nachzuweisen waren, als am Ofen, zu dem die frische Luft des Fensters gelangte. Es folgen noch einige Bemerkungen über die Staubentwicklung beim Zigarettenrauch (4000000000 Teilchen mit jedem Ausstoß). Es wird ferner[2] über Messungen in Hieres (franz. Riviera), La Plage, Cannes, Mentone, Bellagio, Baveno, Simplonpaß, Rigi, Culm, Luzern und auf dem Eifelturm berichtet; Versuche, eine Regelmäßigkeit der Anordnung der Staubteilchen je nach der Höhe über der Stadt festzustellen, blieben resultatlos.

In einer weiteren Arbeit[3] macht Aitken auf den Unterschied zwischen Stadt- und Landnebel aufmerksam. Der bei der Verbrennung von Kohle in die Luft der Stadt gelangende Schwefel hat eine große Affinität zum Wasserdampf, der sich rasch an ihm kondensiert und ihn begierig auch in den kleinsten Teilchen festhält, so daß die beim Landnebel stattfindende Umwandlung von vielen kleinen in wenige große Tropfen, die sich abregnen, hier nicht vor sich gehen kann. Endlich folgen Versuche mit Verbrennung von Alkohol, Petroleumlampen, Kerzen Streichhölzchen, die mehr oder weniger Vermehrung der Kondensationskerne ergaben.

Über Untersuchungen in Deutschland hat als erster Emmerich[4] berichtet, und zwar beziehen sich seine Zählungen auf München und bayrisches Alpenland. Einige der von ihm erhaltenen Zahlen seien hier angeführt: München 50000 bis 200000, Joseftal bei Schliersee 1080, Tegernsee bis 6500, Brecherspitze (1687 m Meereshöhe) 650, Hirschberg-

[1] *Proceedings of the Royal Society of Edinburgh.* Nov. 1888 bis Juli 1889. Bd. XVI. S. 135.

[2] A. a. O. Nov. 1889 bis Juli 1890. Bd. XVII. S. 193.

[3] A. a. O. Nov. 1891 bis Juli 1892. Bd. XIX.

[4] Zit. nach Gemünd, *Vierteljahrschrift f. öffentl. Gesundheitspflege.* 1908 Bd. XL.

gipfel 830. Weiter hat Gemünd in verschiedenen Städten Zählungen vorgenommen. Auf seine Resultate wird unten noch mehrmals eingegangen werden.

Das Prinzip des Aitkenschen Apparates beruht bekanntlich darauf, daß bestimmte Mengen der Luft in eine Kammer gesogen werden, die mit filtrierter Luft gefüllt ist. An einer Wand befindet sich feuchtes Filtrierpapier; dadurch ist die Luft mit Wasserdampf gesättigt. Zieht man an einem Pumpengriff, so wird die Luft vom Volumen 1·0 auf 1.4 ausgedehnt, dadurch abgekühlt und somit mit Wasserdampf übersättigt. Der Wasserdampf schlägt sich auf den Kondensationskernen (K.-K.) nieder; sie fallen als Tröpfchen aus, die mittels Lupe gezählt werden. Genaue Angaben über die Ausführung der Untersuchung sind mehrfach publiziert (Gemünd, Emmerich und Trillich). Ich habe ihnen nichts hinzuzufügen.

Meine Untersuchungen[1] gingen zunächst darauf hinaus, die Zahl der zu verschiedenen Tageszeiten und an verschiedenen Wochentagen in der Luft befindlichen K.-K. zu bestimmen. Die Untersuchungen sind im Hofe des Hygienischen Instituts ausgeführt worden. Dieses liegt am nördlichen Ende der dicht bebauten Innenstadt; nördlich und nordwestlich davon liegen nur wenig bebaute Stadtteile.

Die Resultate gebe ich in folgenden Zahlen wieder:

				K.-K.
23. XI. 12.	Sonnabend,	8 Uhr	vorm.	40 000 pro ccm.
„	„	12 „	„	46 000 „ „
„	„	5 „	nachm.	40 000 „ „
25. XI. 12.	Montag,	8 Uhr	vorm.	34 000 pro ccm.
„	„	12 „	„	57 000 „ „
„	„	5 „	nachm.	44 000 „ „
27. XI. 12.	Mittwoch,	8 Uhr	vorm.	55 000 pro ccm.
„	„	12 „	„	67 000 „ „
„	„	5 „	nachm.	60 000 „ „
1. III. 13.	Sonnabend,	8 Uhr	vorm.	55 000 pro ccm.
„	„	12 „	„	60 000 „ „
„	„	5 „	nachm.	60 000 „ „
2. III. 13.	Sonntag,	8 Uhr	vorm.	50 000 pro ccm.
„	„	12 „	„	60 000 „ „
„	„	5 „	nachm.	65 000 „ „
3. III. 13.	Montag,	8 Uhr	vorm.	50 000 pro ccm.
„	„	12 „	„	60 000 „ „
„	„	5 „	nachm.	65 000 „ „

[1] Für die freundliche Anregung zu dieser Arbeit sei Hrn. Prof. Kisskalt bestens gedankt.

Alle Zählungen sind bei derselben Windrichtung ausgeführt, und es ist zu ersehen, daß die kleinsten Zahlen den frühen Morgenstunden zukommen; gegen Mittag erreichen sie ihr Maximum, um in den Nachmittagstunden wieder abzunehmen. Was die verschiedenen Wochentage anbetrifft, so sind die kleinsten Werte an den frühen Morgenstunden Montags festzustellen; der Sonntag dagegen zeigt keine Abnahme der Zahl der K.-K. Aus meinen Befunden lassen sich keine bestimmten Schlüsse ziehen, ob am Sonntag oder Montag eine Abnahme der K.-K. in der Luft stattfindet.

Bekanntlich hat Renk[1] gefunden, daß die Wochentage hinsichtlich Verrußung der Luft gleich sind, und daraus geschlossen, daß die Fabriken als Rußquelle eine untergeordnete Rolle spielen, und die Hauptursache der Verrußung der Stadtluft in den Beheizungsanlagen der Wohnungen liegt.

Orsi[2] dagegen konnte konstatieren, daß am Montag am wenigsten Ruß vorhanden ist, und erklärt das mit einer Selbstreinigung der Luft am Sonntag.

Schon Aitken konnte während seiner Zählungen den gewaltigen Unterschied zwischen Stadt- und Landluft in bezug auf die Zahl der in ihr befindlichen K.-K. feststellen.

Während er z. B. für Paris 160 000 bis 210 000, in London sogar bis 400 000 K.-K. pro Kubikzentimeter zählte, waren auf dem Rigi nur 210 bis 260 K.-K. zu konstatieren. Auch die Zählungen von Emmerich in München (50 000 bis 200 000), seiner Umgebung und dem bayrischen Vorlande (650 bis 6500) haben die Beobachtung bestätigt. Es muß also etwas Spezifisches, für das Wesen der Stadt Charakteristisches geben, was den gewaltigen Unterschied zwischen Stadt und Land in bezug auf die Zahl der K.-K. ausmacht. Gemünd[3] hat später darauf hingewiesen, daß auch im Gebiete der Stadt selbst die Kondensation auslösenden Partikelchen nicht gleichmäßig verteilt sind; während er die größten Zahlen (60 000 bis 100 000) im Zentrum von Wiesbaden und Hamburg feststellte, kommen den peripheren Teilen dieser Städte viel geringere Zahlen (20 000 bis 50 000) zu.

Ich selbst führte Zählungen in verschiedenen Teilen Königsbergs aus, indem ich von Norden nach dem Süden ging, und habe folgende Resultate erhalten:

---

[1] *Arbeiten aus dem Kgl. hygienischen Institut zu Dresden.* 1907. Bd. II. Hft. 1.

[2] *Archiv f. Hygiene.* 1909. Bd. LXVIII. S. 10.

[3] *Deutsche Vierteljahrschrift f. öffentliche Gesundheitspflege.* 1908. Bd. XL. S. 407.

I. Windrichtung — Südost.

Am Wasserwerk (Nordwesten außerhalb der Stadt)	25000
Steindammer Tor (nordwestliche Peripherie der Stadt)	30000—33000
Hygienisches Institut	52000—56000
Steindammer Kirche (Zentrum)	80000
Von hier weiter südwärts:	
Börse	35000
Brandenburger Tor	8000
10 Minuten südwärts (außerhalb der Stadt)	3000

II. Windrichtung — Süd.

Am Wasserwerk	25000
Hygienisches Institut	52000—55000
Münzplatz (Zentrum)	60000—80000
Friedländer Tor (südliche Peripherie der Stadt)	2500
Schlachthof (Süden außerhalb der Stadt)	12000

Auch ich habe also die größten Werte immer im Zentrum der Stadt erhalten, kleinere Zahlen kamen bei in dieser Zeit hier herrschendem Südwind der nördlichen Peripherie zu; die kleinsten dem Süden und Südwesten.

Das Zentrum, als Kern der Stadt, hat die größte Zahl der für die Stadtluft charakteristischen Teilchen. Von da aus vom hier damals herrschenden Süd- und Südostwind mitgenommen, werden sie nach der nördlichen und nordwestlichen Peripherie der Stadt und in dieser Richtung auch weit ins Freie hinausgeweht: der Nord und Nordwest erhält aus dem im Windstrich gelegenen Zentrum große Mengen von Partikelchen. Aus der südlichen und südwestlichen Peripherie dagegen, die an der Eintrittsstelle des Windes liegen, wird die viele K.-K. enthaltende Stadtluft nach dem Zentrum zu fortgeweht und durch K.-K. freie Außenluft ersetzt oder mindestens mit ihr verdünnt. Die hohe Zahl am Schlachthof ist durch einige dort befindliche Fabriken verursacht.

Der aus dem letztangeführten resultierende Zusammenhang zwischen Verbrennung und Zahl der mittels des Aitkenschen Apparates gezählten Teilchen wird durch die von mir angestellten vergleichenden Untersuchungen der Luft mit dem Aitkenschen Apparat und Rubnerschen Verfahren[1] für Rußbestimmung (Filtration durch Papier) noch weiter unterstützt. Ich habe mehrmals den Zählungen nach Aitken

[1] *Hygienische Rundschau.* Bd. X. S. 261. — *Archiv für Hygiene.* 1906. Bd. LVII. S. 365.

diese Rußbestimmung mit Hilfe der Ascherschen Pumpe[1] angeschlossen. Leider erwies sich die von Ascher angegebene Rußskala für Vergleiche ungeeignet, teils wegen Verschiedenheit der Farbennuancen des geschwärzten Filters und der angegebenen Skala, teils deswegen, weil, während die Verfärbung der Skala diffus ist, auch die kleinsten Rußpartikelchen das Filter in Gestalt einzelner sehr kleiner inselförmiger Anhäufungen ungleichmäßig bedecken. Deswegen mußte ich von einer absoluten Bestimmung absehen und mich auf einen Vergleich der einzelnen Filter miteinander beschränken. Ich habe sie dem Schwärzegrade nach in eine Reihe angeordnet und mit Zahlen von 1 bis 15 entsprechend, mit dem schwärzesten anfangend, bezeichnet.

Die Resultate haben sich folgendermaßen gestaltet:

Rubner	1	Aitken		66000 pro ccm
„	2, 3	„	65000,	65000 „ „
„	4	„		62000 „ „
„	5 (in einem mit Gas beleuchteten Zimmer ausgeführt)	„		340000 „ „
„	6	„		65000 „ „
„	7 (in einem mit Gas beleuchteten Zimmer ausgeführt)	„		260000 „ „
„	8	„		390000 „ „
„	9	„		62000 „ „
„	10, 11	„	58000,	60000 „ „
„	12	„		55000 „ „
„	13	„		33000 „ „
„	14	„		25000 „ „
„	15 (bei starkem Wind)	„		11000 „ „

Rubner 1 könnte man vielleicht mit vier der Ascherschen Skala vergleichen, Rubner 15 war etwas weniger wie 1 der Ascherschen Skala geschwärzt. Ein gewisses Zusammengehen der nach Rubner bestimmten Rußmengen mit dem Aitken ist daraus leicht zu ersehen. Stärker geschwärzten Filtern, die der Ausdruck stärkerer Verrußung sind, entsprechen auch größere, von Aitken angegebene Zahlen. Eine Ausnahme allerdings machen die im mit Gas beleuchteten Zimmer ausgeführten Bestimmungen. Den mit 5,7 und 8 bezeichneten, im gasbeleuchteten Zimmer gewonnenen Filtern sollten dem Schwärzegrade nach 60000 bis 65000 Aitkensche K.-K. entsprechen.

[1] *Gesundheit.* 1909. Bd. XX. — *Rauch und Staub, Zeitschrift für ihre Bekämpfung.* Düsseldorf bei Bagel 1910. Hft. 3. S. 78.

Wie aus der Tabelle zu ersehen ist, entsprechen ihnen viel größere Zahlen (260 000 bis 390 000). Das läßt darauf schließen, daß Gasflammen die Untersuchungen mit dem Aitkenschen Apparat stark beeinträchtigen und zwar in dem Sinne, daß die Zahl von ihm registrierter Kerne stark vermehrt wird. Für die Praxis aber kann bei Rußbestimmungen der Stadtluft im Freien das Rubnersche Filter sicher in vielen Fällen durch den Aitkenschen Apparat ersetzt werden. Dieser hat den Vorteil, daß er absolute Zahlen gibt, so daß die Werte verschiedener Untersucher miteinander verglichen werden können, was bei der anderen Methode mangels einer guten Vergleichsskala einstweilen noch nicht möglich ist. Wie später ausgeführt werden wird, spielen die im Zimmer so sehr störenden Ionen, die durch brennende Gasflammen entstehen, im Freien höchstwahrscheinlich keine Rolle.

Eine Reihe weiterer Versuche sind von mir zwecks Feststellung des Zahlenverhältnisses der Kondensation auslösenden Teilchen in der Ein- und Ausatmungsluft vorgenommen worden.

Schon das Entstehen von Nebel beim Ausatmen in kalter Luft läßt auf Vorhandensein vieler K.-K. in der Ausatmungsluft schließen, und daher war vorauszusehen, daß von den Aitkenschen Partikelchen nur kleine Mengen im Körper zurückbleiben, und dementsprechend ein größerer Prozentsatz ausgeschieden wird.

Das Ergebnis meiner Versuche, das auch dementsprechend ausfiel, ist aus folgenden Zahlen zu ersehen:

Versuch I:

Die Einatmungsluft enthält	46 000	K.-K.
Ausatmungsluft (durch den Mund eingeatmet)	34 000	„

Versuch II:

Einatmungsluft	44 000	K.-K.
Ausatmungsluft (durch die Nase eingeatmet) .	24 000	„
„ (durch den Mund eingeatmet)	23 000	„

Daraus folgt, daß von 44 000 bis 46 000 pro Kubikzentimeter in der Luft enthaltenen Teilchen, entsprechend 23 000 bis 34 000 pro Kubikzentimeter, das heißt 63 Prozent ausgeblasen werden, und nur 37 Prozent zurückbleiben; dabei sind die Zahlen ganz unabhängig davon, ob die Einatmung durch den Mund oder durch die Nase erfolgt.

Die K.-K., welche, wie später auszuführen sein wird, den kleinen Rußteilchen entsprechen, verhalten sich also anders wie gröbere Stäub-

chen. Bezüglich der Zurückhaltung der letzteren in der Lunge sind Versuche von Lehmann, Saito und Gfrörer[1] angestellt worden und haben folgende Resultate ergeben: bei der üblichen Einatmung von Staub durch die Nase und Ausatmung durch den Mund werden nur 10 Prozent wieder ausgeatmet; die übrigen Staubmengen bleiben teils in den oberen Luftwegen, teilt in der Lunge zurück. Bei Inspiration durch den Mund werden noch kleinere Mengen ausgeblasen.

Die Verschiedenheit des Prozentgehaltes des retinierten Staubes und der im Körper zurückgehaltenen Aitkenschen K.-K. ließe sich gut dadurch erklären, daß die letzteren viel kleiner und leichter als der grobe Staub sind; infolgedessen wird der größte Teil derselben wieder ausgeatmet. nur ein kleiner Teil setzt sich auf den Schleimhäuten ab. Daß dies aber im Laufe der Zeit doch eine große Menge ist, geht aus der bekannten Schwärzung der Lunge des Stadtbewohners hervor.

Ursache und Entstehung der Kondensationkerne. Über die Art der Substanzen, welche bei dem Akte der Kondensation im Aitkenschen Apparat und also hauptsächlich auch im Freien als Gerüste für die Wassertröpfchen dienen, bestehen verschiedene Meinungen. Schon die Bezeichnung des Aitkenschen Apparates als Koniskop läßt darauf schließen, daß man früher der Meinung war, das die Hauptrolle im Vorgange der Kondensation dem Staube zukomme. Dieselbe Ansicht hat später auch Liefmann[2] vertreten. „Man muß bedenken," führt er aus, „daß eine große Stadt eine Menge feinen Staubes in sich erzeugt und, da jedes feste Stäubchen gleich gut geeignet ist, das Kondensationszentrum eines Wassertröpfchens abzugeben, scheint im Staube genug Gelegenheit zur Nebel- und Wolkenbildung gegeben zu sein." Dagegen konnte Gemünd[3] nachweisen, daß der gewöhnliche Straßenstaub seine Zählungen mit dem Aitkenschen Apparat gar nicht beeinflußte; es war ziemlich gleich, ob er auf Straßen arbeitete, wo dicke Staubwolken einherrollten, oder auf einem mit Buschwerk bepflanzten Platz.

Die von Gemünd angeführte Tatsache habe ich in einer Reihe von Versuchen nachzuprüfen gesucht. Sie bestanden darin, daß ich durch Suspension von feinen Stäubchen eine künstliche Staubwolke erzeugte und darauf eine Untersuchung der Luft mit dem Aitkenschen Apparat folgen ließ.

[1] Lehmann, Saito u. Gfrörer, Über die quantitative Absorption von Staub aus der Luft durch den Menschen. *Archiv f. Hygiene.* Bd. LXXV.

[2] *Vierteljahrsschrift f. öffentl. Gesundheitspflege.* Bd. XL. S. 300.

[3] A. a. O.

Die Versuche führe ich hier an:

Versuch I: Unter einem Abzug wird Talkpulver so dicht verstreut, daß in der Luft starke Staubwolken stehen. Die daran angeschlossene Zählung fällt der vorher ausgeführten gleich aus.

Versuch II: Aspergillussporen wurden unter einer Exsikkatorglocke in die Luft geblasen, so daß eine dichte Wolke entstand; die K.-K. vermehrten sich von 46 000 auf 47 000. Eine so geringe Zunahme fällt innerhalb der Fehlergrenzen.

Versuch III: Ebenso. — Vor und nach dem Einblasen 35 000 K.-K.

Das ziemlich feine Talkpulver und die noch feineren Aspergillussporen üben also keinen Einfluß auf die Zahl der in der Luft befindlichen Kondensationskerne aus, und es ist daher nicht wahrscheinlich, daß der viel gröbere Straßenstaub diese Fähigkeit aufzuweisen vermochte. Auch die wiederholt von mir beobachtete Abnahme der Zahl der K.-K. bei stürmischem Wetter scheint mir dafür zu sprechen, daß es nicht der Straßenstaub ist, der die Kondensation im Aitkenschen Apparat bedingt. Die durch den starken Wind hervorgerufene Aufwirbelung des Staubes würde eher zu einer Zunahme der Zahl führen; jedenfalls wäre eine Abnahme ausgeschlossen.

Der Aitkensche Apparat zählt also nicht den gewöhnlichen Straßenstaub. Es ist auch von vornherein nicht sehr wahrscheinlich, daß in 1 ccm freier Luft Zehn- bis Hunderttausende von gröberen Stäubchen sich befinden; schon Größe und Gewicht machen sie ungeeignet, längere Zeit in der Luft schwebend zu verweilen. Die Konstanz der mit dem Aitkenschen Apparat erhaltenen Zahlen, die äußerst gleichmäßige Mischung und Verteilung der von ihm registrierbaren Teilchen läßt also auf viel kleinere und feinere Gebilde als der Straßenstaub schließen.

Aitken fiel, wie vorher erwähnt, eine starke Beeinflußbarkeit der Kondensation in seinem Apparat durch Tabakrauch auf. Ich konnte diese Feststellung bestätigen, indem ich in Zimmern, in denen kurz vorher geraucht wurde, ungeheuer große Werte für die mittels des Apparates gezählten Kerne konstatieren konnte; es sind wohl dabei die kleinen aus teerähnlichen Produkten gebildeten Tröpfchen, die im wesentlichen die Zunahme ausmachen. Daß auch die von einer Stearinkerze gelieferten Verbrennungsprodukte die Kondensation in demselben Sinne, wie der Tabakrauch, beeinflussen, habe ich auf folgende Weise feststellen können: Ich habe in einem Zimmer, dessen Luft 70000 K.-K. pro Kubikzentimeter enthielt, eine Stearinkerze längere Zeit brennen lassen; die darauf angeschlossenen Untersuchungen haben eine Vermehrung der Zahl auf 200000 bis 250000 K.-K. pro Kubikzentimeter ergeben. Die starke Zunahme läßt sich auf die von Rubner[1]

[1] *Hygienische Rundschau.* 1900. Bd. X. S. 261.

festgestellte reichliche Rußbildung bei Verbrennung von Stearinkerzen zurückzuführen; auch die in der Umgegend von Kerzenflammen entstehenden Ionen tragen wohl zu der Vermehrung bei.

Zu der Gruppe der Substanzen, die die Fähigkeit besitzen, die Kondensation im Aitken zu beeinträchtigen, gehören noch die kleinen in der Luft schwebenden Salzpartikelchen. Hält man einen in Salzsäure getauchten Glasstab über eine Schale mit Ammoniak, so ruft der entstehende „Salmiaknebel" im Apparat eine starke Kondensation hervor. Die Zahl der niederfallenden Tröpfchen ist so groß, daß sie auch bei Anwendung der stärksten Verdünnung nicht gezählt werden können. Das gilt auch für die beim Zusammentreten von Ammoniak und schwefliger Säure gebildeten Salzpartikelchen.

Von diesen Resultaten ausgehend versuchte ich festzustellen, ob einerseits in der Luft genügend freie Kohlensäure vorhanden ist, um mit verdampftem Ammoniak ein Salz zu bilden und so eine Vermehrung der Zahl der K.-K. zu veranlassen, andererseits, ob das normale Ammoniak der Luft beim Zusammentreten mit verdampfter Salzsäure eine Vermehrung hervorrufen kann. Zu diesem Zwecke habe ich in einem Zimmer eine Schale mit Salzsäure, in einem zweiten eine mit Ammoniak aufgestellt. Mehrere in gewissen Zeitabständen vorgenommene Zählungen, auch solche über den Schalen, haben in beiden Zimmern keine Vermehrung der Zahl der Kondensation auslösenden Teilchen ergeben. Es ist aus diesen Versuchen, übereinstimmend mit den modernen physikalisch-chemischen Anschauungen zu schließen, daß das in der normalen Luft enthaltene Ammoniumkarbonat dissoziert und nicht in Stäubchenform schwebend vorhanden ist.

Bei allen im Zimmer ausgeführten Versuchen fällt auf, daß die Resultate der Zählungen durch im Zimmer brennende Gasflammen sehr beeinträchtigt werden. Es genügt schon das Anstecken einer einzigen Gaslampe, um die Zahl der in der Zimmerluft befindlichen K.-K. um das fünf- ja zehnfache zu vergrößern. Folgende Untersuchung mag diese Verhältnisse demonstrieren: in einem Zimmer, dessen Luft 58000 K.-K. pro Kubikzentimeter enthält, wird eine Gaslampe angesteckt. Die in 5 Minuten vorgenommene Zählung ergibt 190000, die in 10 Minuten folgende 240000, in 20 Minuten 355000 und die letzte in $^1/_2$ Stunde nach der ersten vorgenommenen Zählung ergibt 405000 K.-K. pro Kubikzentimeter. Andererseits beträgt die Zahl der in der Zimmerluft befindlichen K.-K. 10 Minuten nach dem Auslöschen der Flamme 135000, in 20 Minuten sinkt die Zahl auf die vor dem Anstecken der Flamme im Zimmer vorhandene. Der Umstand, daß wir bei Verbrennung von Gas mit Verbreitung so vieler korpuskulären Verbrennungsprodukte in der Luft kaum zu rechnen

haben, ließ vermuten, daß wir es wohl mit den Gasflammen entstammenden schweren Ionen zu tun haben; ihre verhältnismäßig lange Lebensdauer (nach Giese[1] bis 10 Minuten) erlaubt ihnen die Kammer des Aitkenschen Apparates zu erreichen und am Akte der Kondensation teilzunehmen.

Es fragt sich nun, ob die in der Stadtluft vorhandenen K.-K. überwiegend aus Ionen bestehen, oder ob es in der Mehrzahl Rußpartikelchen sind, die in unsere Atmungsorgane gelangen.

Den Beweis dafür, daß wir im gegebenen Falle in der Tat mit Gasionen zu tun haben, mag folgender Versuch erbringen: eine Flasche wird mit Zimmerluft, in der eine Gasflamme brannte, und die nach Aitken 395000 K.-K. pro Kubikzentimeter enthält, gefüllt und fest mit einem Pfropfen verschlossen. Eine in $^1/_2$ Stunde vorgenommene Zählung ergibt 110000 K.-K. pro Kubikzentimeter. Die so auffallend große Abnahme der K.-K. kann nur so erklärt werden, daß die in die Flasche eingeschlossenen Gasionen ihre Ladung verloren haben und infolgedessen im Aitkenschen Apparate nicht mehr als Gerüst für die Wassertröpfchen dienen können. Damit soll nicht gesagt werden, daß durch die Verbrennung von Gas überhaupt kein Ruß sich bildet; im Gegenteil ist letztere Tatsache schon früher von Rubner[2] im positiven Sinne beantworden; jedoch treten, wie man sieht, diese Rußteilchen an Zahl außerordentlich hinter die der Ionen zurück. Die Richtigkeit obiger Annahme wird durch einen daneben angestellten Kontrollversuch bewiesen. Genau so, wie im ersten Falle, wird eine Flasche mit 100000 K.-K. pro Kubikzentimeter enthaltender Außenluft gefüllt. Die in 1 Stunde vorgenommene Zählung ergibt keine Abnahme der Zahl der K.-K. Erst nach 24 Stunden ist die Zahl auf 90000 gesunken; diese geringe und langsam vor sich gehende Abnahme ist wohl auf eine Sedimentierung der Teilchen in der Flasche zurückzuführen.

Immerhin spielen die Flammenionen unter Umständen eine sehr beträchtliche Rolle, und es fragt sich, ob auch andere Ionen bei der Bildung der K.-K. in der Stadtluft beteiligt sind.

Es sind also die Gasionen, die die bei Gasbeleuchtung ausgeführten Zählungen mit dem Aitkenschen Apparat so sehr beeinträchtigen. Daß auch andere Ionen die Fähigkeit besitzen, die Kondensation von Wasserdampf zu beeinflussen, zeigte R. v. Helmholtz[3]; er konnte nachweisen, daß eine elektrische Entladung auf einen Dampfstrahl von hohem Druck einen Einfluß ausübt und zwar in dem Sinne, daß die Elektrisierung den

[1] Zitiert in Mache u. v. Schweidler, *Die atmosphärische Elektrizität.* Braunschweig 1909.

[2] *Hygienische Rundschau.* Bd. X. S. 261.

[3] Zitiert in Thomson, *Elektrizitäts-Durchgang in Gasen.* Leipzig 1906.

Dampf zu einzelnen Wassertröpfchen kondensiert. Die Kondensation auslösende Wirkung der durch Röntgenluft bedingten Ionen hat besonders Wilson studiert. Die Methode ist folgende: ein oben verschlossener Zylinder ist zum größten Teil mit Wasser gefüllt; im obersten Teil befindet sich Luft, die selbstverständlich mit Wasserdampf gesättigt ist und in die man einen hellen Lichtkegel fallen läßt. Man läßt nun unten einen Teil des Wassers schnell auslaufen; hierdurch entsteht eine Ausdehnung der Luft, infolgedessen Abkühlung und Übersättigung mit Wasserdampf (das Prinzip ist also das gleiche wie beim Aitkenschen Apparat, mit dem Unterschiede, daß die Luftverdünnung in beliebigen Grenzen, am besten von 1·0 auf 1·25 bis 1.38, variiert werden kann). Sofort sieht man einzelne Tröpfchen ausfallen, läßt man aber Röntgenstrahlen durch das Gefäß fallen und verdünnt gleichzeitig, so entsteht infolge der äußerst zahlreich sich bildenden Ionen ein sehr dichter, aus äußerst kleinen Tröpfchen bestehender Nebel. Diese Versuche sind mit demselben Erfolge von mir im physikalischen Institut wiederholt worden.[1]

Es fragt sich nun, ob diese Ionen auch im Aitken mitgezählt werden. Von vornherein ist dies nicht sehr wahrscheinlich, denn sie haben nur eine sehr kurze Lebensdauer: fast nur während der Zeit, wo der Röntgenapparat funktioniert, sind sie vorhanden; stellt man ihn ab, so sind schon 3 Sekunden später die Ionen nicht mehr nachweisbar. Dafür scheint noch folgender Umstand zu sprechen: bei einem gewissen Grade von Expansion werden von der so auf einen bestimmten Grad abgekühlten und mit Wasserdampf übersättigten Luft nur Teilchen von einer gewissen Größe als Kerne beim Vorgange der Kondensation benutzt. Da der Aitkensche Apparat nur einen willkürlich gewählten Grad von Expansion (von 1·0 auf 1·4) erlaubt, so kommen auch für die in seiner Kammer sich abspielende Kondensation nur Kerne von einer gewissen Größe in Betracht. Es ist möglich, daß die sehr kleinen Röntgen- und Funkenionen aus diesem Grunde keinen Einfluß auf die Kondensation im Aitkenschen Apparate ausüben. Das Ergebnis eines Versuches fiel auch dementsprechend aus.

Es wurde Röntgenluft produziert und in den Aitkenschen Apparat eingesaugt; die Zahl der K.-K., welche vor Beginn aller Versuche im Zimmer 70000 betragen hatte, war jetzt 71000; diese Zunahme fällt innerhalb der Fehlergrenzen und ist überhaupt minimal gegenüber der Zunahme im Wilsonschen Apparat.

[1] Hrn. Privatdozent Dr. Hoffmann sei auch an dieser Stelle für sein freundliches Entgegenkommen gedankt.

Andere Ionen werden durch elektrische Funken erzeugt. Um zu untersuchen, ob sie im Aitken mitgezählt werden, wurde mit einem Induktionsapparat ein langer Funke erzeugt, und die Luft von demselben in den Aitken gesaugt; die Zahl betrug jetzt 85000. Es wird also ein kleiner Teil dieser Ionen nach Aitken mit bestimmt. Die meisten Ionen sind aber entweder zu klein oder sie haben eine zu kurze Lebensdauer, so daß sie ihre Ladung verlieren, ohne die Kammer des Aitkenschen Apparates erreicht zu haben; nur die, wie erwähnt, viel größeren und trägeren Ionen, welche beim Verbrennen von Leuchtgas entstehen, üben auf die Kondensation einen wesentlichen Einfluß aus. Daß sie es aber sind, die den hohen Gehalt der Stadtluft an K.-K. hervorrufen, erscheint kaum denkbar. Sie spielen dabei sicher eine untergeordnete Rolle: ihre Zahl ist viel zu gering und steht hinter der der Rußteilchen stark zurück. (So gibt z. B. v. Schweidler[1] rund 1000 Ionen jedes Vorzeichens pro Kubikzentimeter an.)

Zwar entstehen auch bei der Verbrennung in unseren Öfen sehr zahlreiche Ionen, ähnlich wie bei der Verbrennung des Leuchtgases im Bunsenbrenner, aber es scheint, daß sie sofort an die kleineren Rußteilchen gebunden werden, ohne auf den Vorgang der Kondensation einen wesentlichen Einfluß auszuüben. Ebenso kommen die neuerdings von Lenard und Ramsauer[2] beschriebenen feinsten K.-K. der Luft, die nicht einmal durch Wattefiltration, sondern nur durch Ausfrieren der Luft bei -78^0 entfernt werden, für die Bestimmung mit dem Aitken nicht in Betracht, da ja hier, vermutlich infolge der gewählten Verdünnung, aus der filtrierten Luft keine Tröpfchen ausfallen.

Wir sind also zu dem Resultat gekommen, daß im Freien die Kondensation im wesentlichen durch die in der Luft suspendierten Rußteilchen bedingt wird: die feinen Rußanreicherungen sind also für die atmosphärischen Veränderungen maßgebend. Je größer die Stadt ist, je mehr in ihr Kohle jährlich verbrannt wird, desto größer ist die Zahl der in der Luft schwebenden Rußteilchen, und desto öfter im Jahre müssen die Nebeltage sein.

Daraus erwächst die Frage: Könnte man nicht durch den vorgeschlagenen Ersatz der Kohlenheizung durch Gasheizung die Rußplage und mit ihr auch die Nebelplage der Städte beseitigen?

Ohne weitere Auseinandersetzungen ist klar, daß das Einführen der Gasheizung die Ruß- und Rauchfrage vollkommen löst.

---

[1] H. Mache und E. v. Schweidler, *Die atmosphärische Elektrizität.* Braunschweig 1909. S. 89.

[2] *Sitzungsberichte der Heidelberger Akademie der Wissenschaften.* Jahrg. 1911. 16. Abhandlung.

Anders die Nebelplage. Bezüglich dieser ist Gemünd[1] der Meinung: „Es scheint, daß auch bei der denkbar vollkommensten Gasfeuerung eine Unmenge von Partikelchen in die Luft überführt wird, die, wenn sie auch vielleicht mikroskopisch klein sind, doch als Kondensationskerne für Wasserdampf dienen können.“ In der Tatsache, daß die Gasfeuerung, die Nebelplage nicht beseitigen wird, kann man ihm recht geben, nicht aber in dem, was er für die Ursache ansieht; er glaubt, daß es feinst verteilte Kohlenpartikelchen sind, die der Flamme des Bunsenbrenners entströmen und die K.-K. bilden. Nach unserer Annahme dagegen handelt es sich nicht um solche, sondern um Ionen; denn einerseits wird das Rubnersche Filter durch Luft, welche durch einen Bunsenbrenner sehr viel K.-K. enthält, nicht entsprechend mehr geschwärzt, ferner spricht der Versuch mit der schnelleren Abnahme der K.-K. in der Flasche dagegen.

Es fragt sich nun, ob nach dieser Anschauung eine aus flammenloser Verbrennung herstammende Abluft, die sehr viele Flammenionen als K.-K. enthält, imstande sein wird, in den Städten Nebel zu erzeugen, obwohl die Ionen nur eine kurze Lebensdauer (rund 10 Minuten) haben.

Unserer Ansicht nach ist dies wohl denkbar. Man kann sich sehr gut vorstellen, daß bei Gasheizung die viele K.-K. enthaltende Luft dem Schornstein entströmt und sich so schnell mit einer Wasserdampf-übersättigten Luft vermischt, daß jedes der Ionen zum Nebeltröpfchen wird und auch bleibt. Je mehr K.-K. in der Luft vorhanden sind, desto dichter und feiner wird der Nebel, während, wenn es sich um wenige handelt, die Tröpfchen um so größer werden und bald niederfallen. — Neuere Angaben über einen Zusammenhang zwischen Zunahme der Gasheizungen und Abnahme der Nebeltage in London sind zu wenig kritisch, als daß man daraus irgendwelche Schlußfolgerungen ziehen könnte.

Zusammenfassung.

I. Die Zahl der K.-K. in der Königsberger Stadtluft ist geringer als die in London und etwa ebensogroß, wie die in den deutschen Städten, zwischen denen sehr große Unterschiede nicht existieren; sie ist am höchsten in der inneren Stadt.

II. Die Zahl der K.-K. der Luft im Freien geht parallel der Schwärzung des Rubnerschen Filters.

[1] A. a. O. S. 427.

III. Der größere Teil der eingeatmeten Rußpartikelchen wird wieder ausgeatmet.

IV. Schimmelpilze und Staub haben keinen Einfluß auf die Zahl der K.-K., die mit dem Aitkenschen Apparat gezählt werden. Von den Ionen kommen nur die aus Flammen stammenden in Betracht, diese allerdings manchmal sehr stark.

V. Die Verdünnung ist beim Aitkenschen Apparat zwar willkürlich gewählt (bei stärkerer Verdünnung würden mehr Tröpfchen ausfallen), für praktische Zwecke ist es aber die günstigste.

VI. Auch bei Ersatz der Kohlenfeuerung durch Gasfeuerung kann die Nebelplage fortbestehen.

Lebenslauf.

Verfasser dieser Arbeit, Gerschon Wolodarski, wurde am 24. Juli 1890 in Krementschug (Rußland) als Sohn des Kaufmanns Wulf Wolodarski geboren. Seine Erziehung genoß er im Elternhause. Im Herbst 1900 bestand er die Eintrittsprüfung an der Krementschuger Alexander-Realschule, die er im Juni 1908 absolvierte.

Im Juni dieses Jahres bestand er die Ergänzungsprüfung in Latein am Poltaver humanistischen Gymnasium und wurde im November an der medizinischen Fakultät der Albertus-Universität zu Königsberg immatrikuliert, wo er ununterbrochen bis zur Promotion seine Studienzeit verbrachte.

Seine Lehrer, denen er an dieser Stelle aufrichtigen Dank ausspricht, waren:

Prof. Dr. Braun, Borchardt, Clausen, R. Cohn, T. Cohn, Draudt, Ehrhardt, Ellinger, Frangenheim, Frey, Friedrich, Gaupp, Gerber, Haecker, Henke, Hermann, Hilbert, Hofbauer, Jaffé, Joachim, Kaiserling, Kisskalt, Klieneberger, Klinger, Lichtheim, Link, Lissauer, Mayer, Rosinski, Sachs, Schieck, Schittenhelm, Scholz, Stenger, Stieda, Unterberger, Weiß, Winter, Zander.